

pc. 9447

3/3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-248996

(43) 公開日 平成5年(1993)9月28日

(51) Int. Cl. ⁵
G01M 11/02

識別記号 庁内整理番号
K 8204-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全10頁)

(21) 出願番号 特願平4-50926

(22) 出願日 平成4年(1992)3月9日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 高良 秀彦

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 川西 悟基

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 猿渡 正俊

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

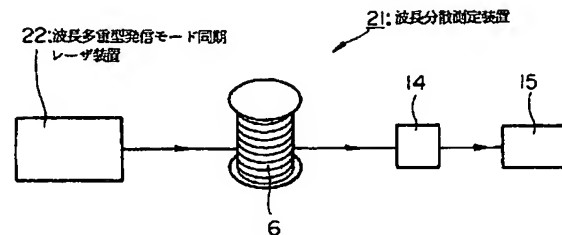
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 光ファイバの波長分散測定装置

(57) 【要約】

【構成】 本発明の光ファイバの波長分散測定装置21は、長さが既知の被測定光ファイバ6の一端から波長の異なる超短光パルス列を入射させ、被測定光ファイバ6の他端から出射する出射光の相対的な遅延時間を波長の関数として測定し、この相対的な遅延時間を波長で微分し、得られる係数から波長分散を求める光ファイバの波長分散測定装置において、波長の異なる超短光パルス列を発生する手段は、複数の波長の光パルス列を同期して発生させる単一の光源22からなることを特徴とする。光源22としては、リング共振器型またはファブリペロ共振器型の波長多重型モード同期レーザ装置が好ましい。

【効果】 被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求めることができ、測定時間内における温度変化等の外的要因による被測定光ファイバの光路差変化の影響を除去することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 長さが既知の被測定光ファイバの一端から波長の異なる超短光パルス列を入射させ、前記被測定光ファイバの他端から出射する出射光の相対的な遅延時間を波長の関数として測定し、この相対的な遅延時間を波長で微分し、得られる係数から波長分散を求める光ファイバの波長分散測定装置において、
前記波長の異なる超短光パルス列を発生する手段は、複数の波長の光パルス列を同期して発生させる単一の光源からなることを特徴とする光ファイバの波長分散測定装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光ファイバの波長分散測定装置において、

前記光源は、

光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、この光パルスを外部に取り出す光分岐手段と、これらの各手段を互いに光学的に結合して所定の長さのリング状の光路を有するリング共振器とする光結合手段と、前記リング共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたリング共振器型の波長多重モード同期レーザ装置からなることを特徴とする光ファイバの波長分散測定装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載の光ファイバの波長分散測定装置において、

前記光源は、

光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、前記光変調手段の入射側及び光増幅手段の

$$\Delta \tau = D \cdot \Delta \lambda \cdot L \quad (\text{ps})$$

で表わされる。したがって、光ファイバの波長分散 D は、(1) 式により、波長差 $\Delta \lambda$ (nm) に対する相対

$$D = (\Delta T / \Delta \lambda) / L \quad (\text{ps} / \text{nm} / \text{km}) \quad \dots \dots (2)$$

で表すことができる。これより、波長 λ_k における波長分散 D_k は、遅延時間 T を波長 λ で微分した係数

【数 1】

$$D_k = \left(\frac{dT}{d\lambda} \right)_{\lambda = \lambda_k} \quad \dots \dots (3)$$

を計算することにより求めることができる。

【0003】 光ファイバの波長分散 D を測定する方法としては、既にパルス法と呼ばれる方法が知られている。このパルス法は、波長の異なる光パルスを被測定光ファイバに照射し、それぞれの光パルスの群速度で定まる伝搬遅延時間（到達時間差）を測定して波長分散を算出する方法である。

【0004】 図 8 は従来のパルス法を適用した測定装置

出射側それぞれに設けられ入射光の大部分を反射させる 2 つの光反射手段と、これらの各手段を光学的に結合して所定の長さの往復光路を有するファブリペロ共振器とする光結合手段と、前記ファブリペロ共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたファブリペロ共振器型の波長多重モード同期レーザ装置からなることを特徴とする光ファイバの波長分散測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信等に用いられる光ファイバの波長分散を測定する装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光通信等に用いられる光ファイバとしては、石英（シリカ）系ガラス、多成分系ガラス、PMM A（ポリメチルメタアクリレート）等の有機材料を用いたものが用いられている。なかでも石英系の単一モード光ファイバは低損失化が著しく、大容量・長距離伝送への適用が検討され実用化されているが、通常の単一モード光ファイバには波長分散、すなわち、光信号の群速度が波長により異なるために該光ファイバ中を伝搬する時間が波長により異なるという性質があるので、光ファイバ中の光信号のパルス幅の広がり、すなわち波長分散を評価することは、光通信システムを設計する上で重要である。例えば、2 つの光パルスの波長が λ (nm) 及び $\lambda + \Delta \lambda$ (nm) で表わされる様な光信号がファイバ長 L (km) の光ファイバ中を伝搬した後に受ける群遅延時間差 $\Delta \tau$ (ps) は、波長 λ における波長分散 D (ps/nm/km) を用いて、

$$\dots \dots (1)$$

遅延時間差 ΔT (ps) を用いて

の一例である光ファイバの波長分散測定装置 1 の概略構成図である。この波長分散測定装置 1 は、多モード、または広スペクトル幅を有する光パルスを発生させることのできるパルス光発生装置 2、分光器 3、光電変換装置 4、信号処理装置 5 から構成されている。なお、6 は被測定光ファイバである。この波長分散測定装置 1 を用いて被測定光ファイバ 6 の波長分散を測定する方法について説明する。まず、パルス光発生装置 2 から発生した多モードまたは広スペクトル幅を有する光パルス L_1 を被測定光ファイバ 6 に入射し、この被測定光ファイバ 2 から出射した出力光 L_2 を分光器 3 に入射させ、該分光器 3 において波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光に空間的に分光する。分光された各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光パルス $L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1n}$ は光電変換装置 4 において電気信号

に変換される。信号処理装置5では、各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光パルスに対応する電気信号Eの相対遅延時間を計測し、波長分散を算出する。例えば、図9に示すように、各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ におけるそれぞれの遅延時間 t_1, t_2, \dots が求められ、波長 λ_i における波長分散D_iは(3)式を計算して求めることができる。

【0005】図10は従来のパルス法を適用した測定装置の他の一例である光ファイバの波長分散測定装置11の概略構成図である。この波長分散測定装置11は、波長の異なる複数の光パルス L_1, L_2, \dots, L_n を発生させることのできる複数の光パルス光源12₁, 12₂, ..., 合波器13、受光器14、パルス波形測定装置15から構成されている。光パルス光源12₁, 12₂, ...としては半導体レーザなどがあげられる。この波長分散測定装置11では、光パルス L_1, L_2, \dots, L_n それぞれに対応する出力光の出力表示は図11のようになり、波長分散測定装置1の場合と同様に、各波長に対して相対的な遅延時間をプロットして波長で微分することにより波長分散Dを求めることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の波長分散測定装置1, 11では、次のような様々な問題点があった。すなわち、波長分散測定装置1では、それぞれの波長の光パルス L_i に対して別々に長尺の被測定光ファイバ6の波長分散Dを測定しているために、測定時間内における温度変化等の外的要因により生じた光路差変化の影響を受ける恐れが生じるという問題があった。例えば、ファイバ長Lが100kmの光ファイバにおいて1℃温度が変化した場合、石英ガラスの熱膨張率は 0.4×10^{-6} であるから、該光ファイバはファイバ長Lが30

【0007】これに対して、波長分散測定装置11では、同時に異なる波長の光パルス L_1, L_2, \dots, L_n を伝搬させて、これらの到達時間差を計測すれば、これらの光パルス L_1, L_2, \dots, L_n は同一条件で外的要因の影響を受けるために測定誤差への影響はない。しかし、複数の光パルス光源12₁, 12₂, ...を用いるために、複数の波長における分散を正確に測定するためには各光パルス光源12₁, 12₂, ...の波長間隔、電気線長、光路長および発生時間の調整等を高精度で行う必要がある。また、装置全体が大規模、高価となり、任意の波長のレーザ装置を作製する技術が十分に確立していないという難

点もある。

【0008】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、光ファイバの波長分散を簡単かつ高精度に測定することができる光ファイバの波長分散測定装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は下記の様な光ファイバの波長分散測定装置を採用した。すなわち、請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置は、長さが既知の被測定光ファイバの一端から波長の異なる超短光パルス列を入射させ、前記被測定光ファイバの他端から出射する出射光の相対的な遅延時間を波長の関数として測定し、この相対的な遅延時間を波長で微分し、得られる係数から波長分散を求める光ファイバの波長分散測定装置において、前記波長の異なる超短光パルス列を発生する手段は、複数の波長の光パルス列を同期して発生させる単一の光源からなることを特徴としている。

【0010】また、請求項2記載の光ファイバの波長分散測定装置は、請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置において、前記光源は、光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、この光パルスを外部に取り出す光分岐手段と、これらの各手段を互いに光学的に結合して所定の長さのリング状の光路を有するリング共振器とする光結合手段と、前記リング共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたリング共振器型の波長多重モード同期レーザ装置からなることを特徴としている。

【0011】また、請求項3記載の光ファイバの波長分散測定装置は、請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置において、前記光源は、光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、前記光変調手段の入射側及び光増幅手段の出射側それぞれに設けられ入射光の大部分を反射させる2つの光反射手段と、これらの各手段を光学的に結合して所定の長さの往復光路を有するファブリペロ共振器とする光結合手段と、前記ファブリペロ共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたファブリペロ共振器型の波長多重モード同期レーザ装置からなることを特徴としている。

【0012】

【作用】本発明の請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置では、前記波長の異なる超短光パルス列を発生

する手段を、複数の波長の光パルス列を同期して発生させる単一の光源とすることにより、複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列からこの被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求める。また、同期した異なる波長の光パルス列を用いて同時に各波長での遅延時間を測定することにより、測定時間内における温度変化等の外的要因による被測定光ファイバの光路差変化の影響を受けることがない。また、各波長を精度良く制御することが可能になり、高精度の測定が可能になる。

【0013】また、請求項2記載の光ファイバの波長分散測定装置では、前記光源をリング共振器型の波長多重モード同期レーザ装置とすることにより、前記リング共振器内において発信される特定モードの定在波からなる複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列からこの被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求める。

【0014】また、請求項3記載の光ファイバの波長分散測定装置では、前記光源をファブリペロ共振器型の波長多重モード同期レーザ装置とすることにより、前記ファブリペロ共振器内において発信される特定モードの定在波からなる複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列からこの被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求める。

【0015】

【実施例】以下、本発明の実施例について図1ないし図7を基に説明する。図1は光ファイバの波長分散測定装

$$\Delta\lambda = \frac{L_b \cdot B}{\left(L_b \cdot \frac{\partial n_b}{\partial \lambda} + L_n \cdot \frac{\partial n_n}{\partial \lambda} \right)} \quad \dots\dots (4)$$

ここで、Lは光ファイバのファイバ長、nは屈折率を表し、添え字のbは複屈折領域、nは単一偏波領域を表す。

【0019】このレーザ装置22では、複屈折媒質および単一偏波領域の長さを調節することにより、発振波長間隔 $\Delta\lambda$ を制御することが可能である。また、制御可能な発振波長間隔 $\Delta\lambda$ は、各光パルスのスペクトル幅程度から使用する利得媒質程度が可能である。例えば、利得媒質としてErドープ光ファイバを用いた場合では、1nm程度から10nm程度の波長間隔が得られる。

【0020】図3はレーザ装置22の変形実施例を示す図である。このレーザ装置31は、上述のレーザ装置22の複屈折媒質24をN段接続したもので、他の構成要素はレーザ装置22と全く同一である。このレーザ装置31では、2"の異なる光路長差が生じることにより、2"の異なる波長の同期発振を行うことができる。

置21を示す図である。この波長分散測定装置21は、複数の波長の超短光パルス列を同期して発生させるリング共振器型の波長多重型発振モード同期レーザ装置(光源)22、受光器14、パルス波形測定装置15から構成されている。なお、この波長分散測定装置21において、従来の波長分散測定装置1、11と同一の構成要素には同一の符号を付し説明を省略する。

【0016】図2はリング共振器型の波長多重型発信モード同期レーザ装置(以下、単にレーザ装置と略称する)22の構成図である。このレーザ装置22は、パンダ型光ファイバ等の偏波保存性を有する光導波路23、複屈折媒質(波長分散手段)24、光分波器(光分岐手段)25、光強度変調器26、利得媒質(光増幅手段)27、偏光子28から構成されている。そして、光導波路23と複屈折媒質24とは、A点でそれぞれの主軸方向のなす角度が45度になるように接続されている。

【0017】このレーザ装置22では、光導波路23で単一偏光であった光パルスは複屈折媒質24内で直交する2偏波となる。これらの2偏光の光パルスは複屈折媒質24内で感じる屈折率が異なるため伝搬速度が異なり時間軸上で分離する(偏波分散)。そして、それぞれの光パルスに対しては、光路長およびリング共振器全体の波長分散により光変調器の変調周波数に同期するように波長が決定される。その結果、異なる波長を持つ光パルスが同期して発振される。

【0018】このレーザ装置22の発振波長間隔 $\Delta\lambda$ は、次式で表すことができる。

【数2】

【0021】以下、本発明の波長分散測定装置21の原理について説明する。レーザ装置22(31)から発生する異なる波長($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ 但し $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3, \dots$)を有する短パルス光は被測定光ファイバ6を伝搬する。図4は、被測定光ファイバ6の波長分散による多波長光パルスのパルス間隔広がり(図4(a))を説明する図である。図中、(a)は多波長光パルスのそれぞれ時間と波長との関係を示し、(b)はその多波長光パルスの時間と光強度との関係を示す。

【0022】多波長光パルスは、(a)に示すように異なる波長の光パルスが時間軸上で一致したものであるが、この多波長光パルスを正常分散光ファイバ中を伝搬させると、長波長の光の群速度が速く短波長の光の群速度が遅いために、同図(c)に示すように波長により到達時間に差が生じ、パルス間に遅延差が生じることとなる。逆に、この多波長光パルスを、異常分散光ファイバ

中を伝搬させると、長波長の光の群速度が遅く短波長の光の群速度が速いために、同図(d)に示すように正常分散と逆の到達時間差が生じ、パルス間に遅延差が生じることとなる。

【0023】上記のように被測定光ファイバ6により分散の効果を受けた出射光は、受光器14において電気信号に変換され、パルス波形測定装置15により観測される。図5はこのパルス波形測定装置15により観測される光パルス波形を示すもので、前述のように、波長により被測定光ファイバ6での群速度が異なるため、各波長($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$)の到達時間が異なる。したがって、これらの波長の到達時間を測定することにより波長分散を求めることができる。この方法では各波長の光パルスの相対遅延時間(T_1, T_2, T_3, \dots)を測定すればよいので、被測定光ファイバ6における温度変化などの外的要因による光路差変化の影響は受けることがない。

【0024】図6は各波長($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$)の光パルスの相対遅延時間(T_1, T_2, T_3, \dots)の間の関係をグラフ化したものである。波長分散Dは、(2)式に示す様に、図6を微分することにより図7のような関数が得られ、したがって、各波長($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$)に対する波長分散Dを求めることができる。

【0025】以上説明した様に、本実施例の波長分散測定装置21によれば、複数の波長の超短光パルス列を同期して発生させるリング共振器型の波長多重型発振モード同期レーザ装置(光源)22と、受光器14と、パルス波形測定装置15とから構成することとしたので、リング共振器内において発信される特定モードの定在波からなる複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバ6に入射し、該被測定光ファイバ6から出射する光パルス列から、この被測定光ファイバ6の波長分散Dを容易かつ簡単に求めることができる。

【0026】また、同期した異なる波長の光パルス列を用いて同時に各波長での遅延時間を測定することにより、測定時間内における温度変化等の外的要因による被測定光ファイバの光路差変化の影響を除去することができる。また、各波長を精度良く制御することができるので、高精度の測定が可能となる。さらに、単一光源を用いて被測定光ファイバ6の波長分散Dを測定することができるので、簡易で安価な測定装置を提供することができる、経済的効果が大きい。

【0027】なお、本実施例の波長分散測定装置21においては、光源としてリング共振器型の波長多重型発振モード同期レーザ装置22を用いたが、ファブリペロ共振器型の波長多重型モード同期レーザ装置を用いても全く同様の作用・効果を奏することができる。

【0028】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置によれば、長さが

既知の被測定光ファイバの一端から波長の異なる超短光パルス列を入射させ、前記被測定光ファイバの他端から出射する出射光の相対的な遅延時間を波長の関数として測定し、この相対的な遅延時間を波長で微分し、得られる係数から波長分散を求める光ファイバの波長分散測定装置において、前記波長の異なる超短光パルス列を発生する手段は、複数の波長の光パルス列を同期して発生させる単一の光源からなることとしたので、複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列から、この被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求めることができる。

【0029】また、同期した異なる波長の光パルス列を用いて同時に各波長での遅延時間を測定することにより、測定時間内における温度変化等の外的要因による被測定光ファイバの光路差変化の影響を除去することができる。また、各波長を精度良く制御することができるので、高精度の測定が可能となる。さらに、単一光源を用いて被測定光ファイバの波長分散を測定することができるので、簡易で安価な測定装置を提供することができ、経済的効果が大きい。

【0030】また、請求項2記載の光ファイバの波長分散測定装置によれば、請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置において、前記光源は、光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、この光パルスを外部に取り出す光分岐手段と、これらの各手段を互いに光学的に結合して所定の長さのリング状の光路を有するリング共振器とする光結合手段と、前記リング共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたリング共振器型の波長多重型モード同期レーザ装置からなることとしたので、リング共振器内において発信される特定モードの定在波からなる複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列から、この被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求めることができる。

【0031】また、請求項3記載の光ファイバの波長分散測定装置によれば、請求項1記載の光ファイバの波長分散測定装置において、前記光源は、光の強度または位相のいずれかを所定の周波数により変調する光変調手段と、変調された光パルスを増幅する光増幅手段と、前記光変調手段の入射側及び光増幅手段の出射側それぞれに設けられ入射光の大部分を反射させる2つの光反射手段と、これらの各手段を光学的に結合して所定の長さの往復光路を有するファブリペロ共振器とする光結合手段と、前記ファブリペロ共振器内に、互いに直交する偏光方向により異なる屈折率を与え、各屈折率に応じて形成

される複数の光路長に対応した共振器を構成する光路差付与手段と、波長により異なる屈折率を与える波長分散手段とを備えたファブリペロ共振器型の波長多重型モード同期レーザ装置からなることとしたので、前記ファブリペロ共振器内において発信される特定モードの定在波からなる複数の波長の超短光パルス列を被測定光ファイバに入射し、該被測定光ファイバから出射する光パルス列から、この被測定光ファイバの波長分散を容易かつ簡単に求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る光ファイバの波長分散測定装置の一実施例を示す構成図である。

【図 2】 本発明に係る光ファイバの波長分散測定装置のリング共振器型波長多重型発信モード同期レーザ装置の一実施例を示す構成図である。

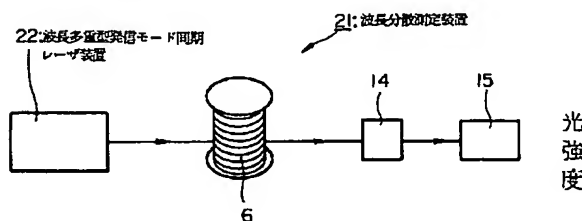
【図 3】 本発明に係る光ファイバの波長分散測定装置のリング共振器型波長多重型発信モード同期レーザ装置の変形実施例を示す構成図である。

【図 4】 被測定光ファイバの波長分散による多波長光パルスのパルス間隔広がり方を説明する図である。

【図 5】 パルス波形測定装置により観測される光パルス波形を示す図である。

【図 6】 光パルスの波長とパルス遅延時間差との関係を示す図である。

【図 1】



【図 7】 光パルスの波長と波長分散との関係を示す図である。

【図 8】 従来の光ファイバの波長分散測定装置を示す構成図である。

【図 9】 光パルスの波長と群遅延時間との関係を示す図である。

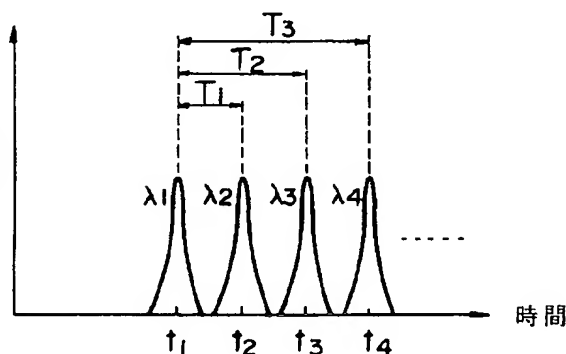
【図 10】 従来の他の光ファイバの波長分散測定装置を示す構成図である。

【図 11】 各光パルスに対応する出力光の光強度を示す図である。

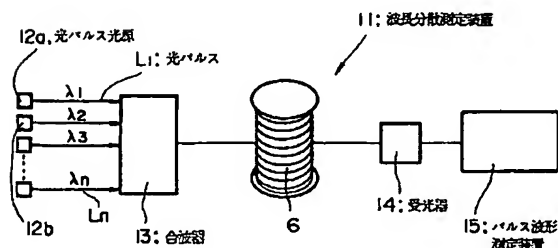
【符号の説明】

- 21 波長分散測定装置
- 22 リング共振器型の波長多重型発振モード同期レーザ装置（光源）
- 14 受光器
- 15 パルス波形測定装置
- 23 光導波路
- 24 複屈折媒質（波長分散手段）
- 25 光分枝器（光分岐手段）
- 26 光強度変調器
- 27 利得媒質（光増幅手段）
- 28 偏光子
- 31 レーザ装置

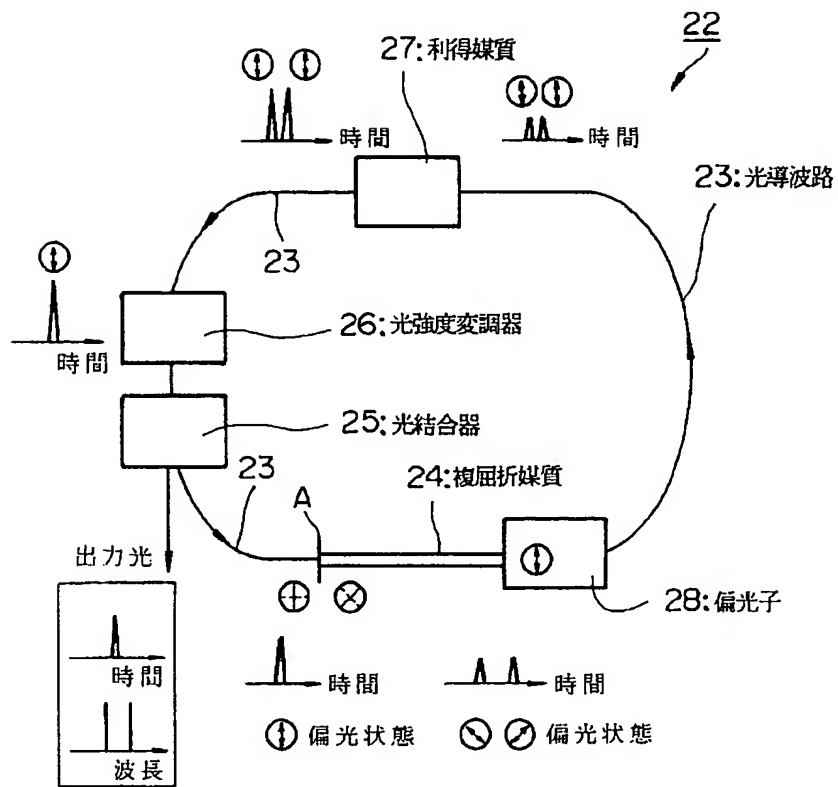
【図 5】



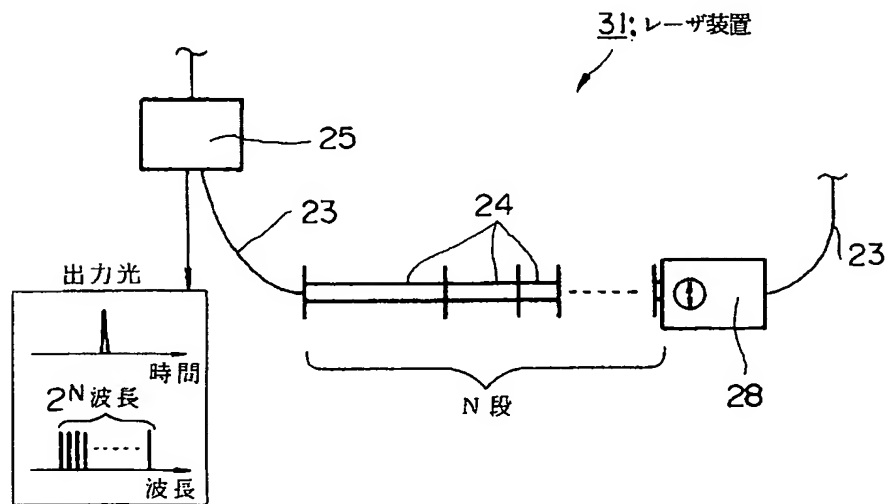
【図 10】



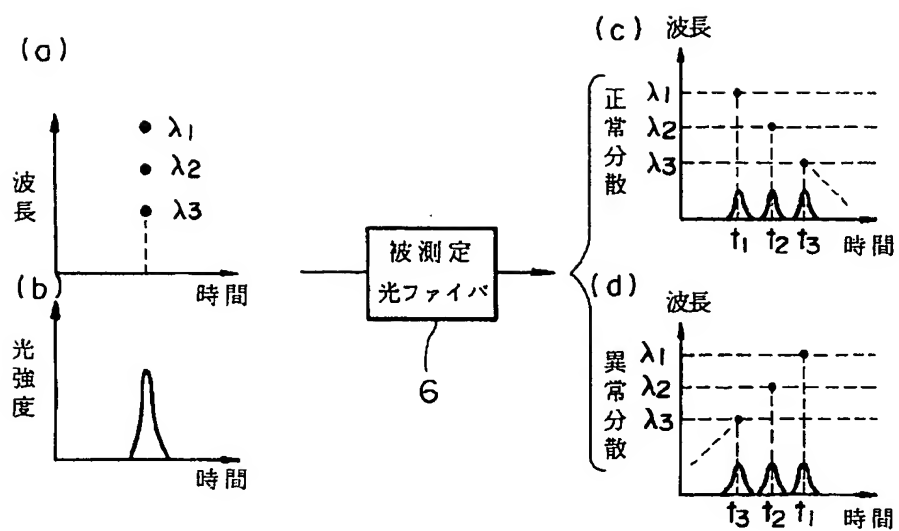
【図 2】



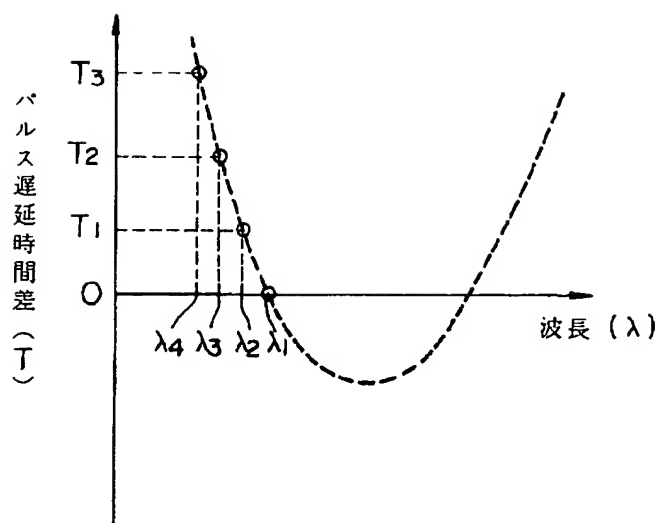
【図 3】



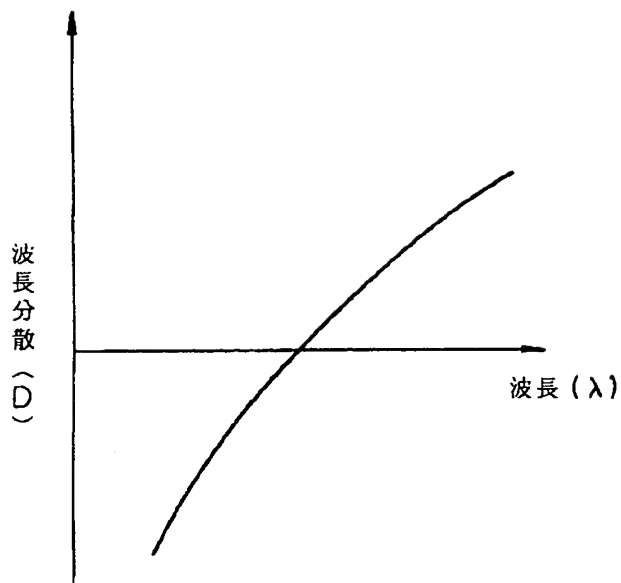
【図4】



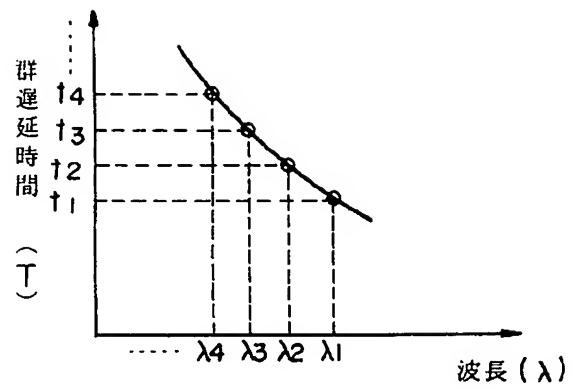
【図6】



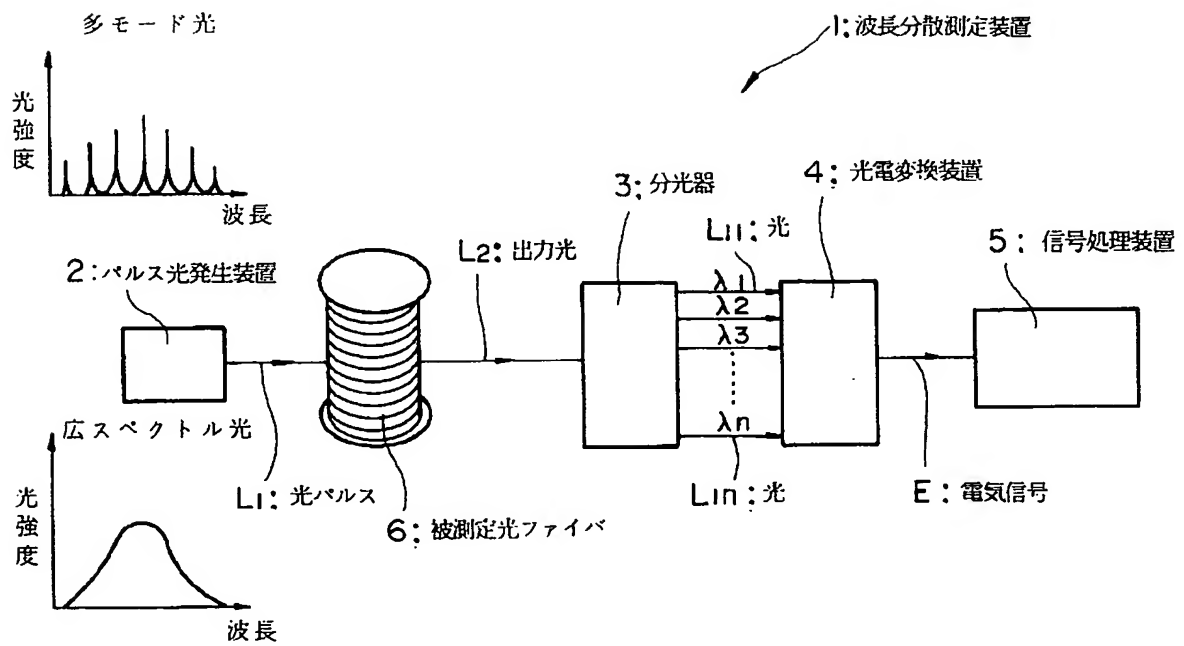
【図 7】



【図 9】



【図 8】



【図11】

